

**Cindy Steiner**

**Plasmagestützte Nanostrukturierung von ETFE-Folie**

# Werkstofftechnik Aktuell

Schriftenreihe aus dem Fakultätsübergreifenden Institut für  
Werkstofftechnik (IWT) an der TU Ilmenau

Herausgegeben von Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Peter Schaaf  
und Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Edda Rädlein

## Band 18

Die vorliegende Schriftenreihe "Werkstofftechnik Aktuell" berichtet über aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Institut für Werkstofftechnik (IWT) der TU Ilmenau. Die ausgewählten Texte spiegeln die breit gefächerten materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Themen, die am IWT bearbeitet werden, wieder. Für weitere Informationen und Rückfragen können Sie sich gerne an das Institut ([www.tu-ilmenau.de/wt](http://www.tu-ilmenau.de/wt)) wenden oder das Institut persönlich besuchen. Über Ihre Anregungen, konstruktive Kritik und Ihre Kontaktaufnahme würden wir uns sehr freuen. Das IWT steht wissenschaftlichen Zusammenarbeiten stets aufgeschlossen gegenüber.

# Plasmagestützte Nanostrukturierung von ETFE- Folie

Cindy Steiner



Universitätsverlag Ilmenau  
2018

## Impressum

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 26. Juni 2017

1. Gutachterin: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Edda Rädlein  
(Technische Universität Ilmenau)

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Schnabel  
(Westfälische Hochschule Zwickau)

3. Gutachter: Prof. Dr. Norbert Kaiser  
(Ernst-Abbe-Hochschule Jena)

Tag der Verteidigung: 26. Februar 2018

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

### **Universitätsverlag Ilmenau**

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

[www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag](http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag)

readbox unipress

in der readbox publishing GmbH

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

<http://unipress.readbox.net/>

**ISSN** 1868-6532 (Druckausgabe)

**ISBN** 978-3-86360-179-9 (Druckausgabe)

**URN** urn:nbn:de:gbv:ilm1-2018000087

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b>	<b>v</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract</b>	<b>ix</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Stand der Wissenschaft . . . . .	3
1.1.1 Möglichkeiten zur Erzeugung reflexionsmindernder Eigenschaften von Oberflächen . . . . .	3
1.1.2 Nanostrukturierung von Kunststoffoberflächen mittels Plasma . . . . .	5
1.2 Zielstellung . . . . .	9
<b>2 Grundlagen</b>	<b>13</b>
2.1 Optische Eigenschaften . . . . .	13
2.2 Plasmabehandlung von Polymerfolien . . . . .	18
2.2.1 Vakuum . . . . .	18
2.2.2 Plasma . . . . .	19
2.2.3 Wechselwirkungen von Kunststofffolien mit Plasma	21
2.3 Strukturbildung auf Kunststoffoberflächen . . . . .	23
2.3.1 Aufbau eines Polymers . . . . .	23
2.3.2 Ethylentetrafluorethylen (ETFE) . . . . .	25
2.3.3 Nanostrukturierung von Polymeroberflächen . . . . .	30
<b>3 Experimenteller Aufbau und Charakterisierung</b>	<b>33</b>
3.1 Schichterzeugung und Polymerstrukturierung . . . . .	33
3.1.1 Magnetron und Doppel-Magnetron . . . . .	33

## Inhaltsverzeichnis

3.1.2	Ätzen . . . . .	35
3.2	Nanostrukturierung in einer Rolle-zu-Rolle-Anlage . . .	36
3.3	Experimentelle Durchführung . . . . .	38
3.3.1	Verwendetes Substrat Ethylentetrafluorethylen .	38
3.3.2	Parametervariation im Plasmaprozess . . . . .	38
3.3.3	Variation des Reckverhältnisses . . . . .	39
3.4	Optische Charakterisierung . . . . .	41
3.4.1	Spektralphotometer . . . . .	42
3.4.2	Transmissionsgrad . . . . .	43
3.4.3	Ermittlung des effektiven Brechungsindex . . . .	44
3.4.4	Spektrale Ellipsometrie . . . . .	45
3.5	Analyse der mechanischen Eigenschaften . . . . .	46
3.6	Analyse der chemischen Zusammensetzung . . . . .	47
3.6.1	Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) . . . . .	47
3.6.2	Infrarotspektroskopie mit abgeschwächter Total- reflexion (IR-ATR) . . . . .	47
3.6.3	Röntgenbeugungsuntersuchung (XRD) . . . . .	49
3.6.4	Kalorimetriemessung . . . . .	50
3.7	Analyse der Oberflächeneigenschaften . . . . .	50
3.7.1	Rasterelektronenmikroskopie (REM) . . . . .	50
3.7.2	Rasterkraftmikroskopie (AFM) . . . . .	56
3.7.3	Adsorptionsisotherme nach Brunauer-Emmett- Teller (BET) . . . . .	58
3.7.4	Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) . . .	58
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion zur Strukturbildung auf ETFE</b>	<b>61</b>
4.1	Charakterisierung der Substratfolie ETFE . . . . .	61
4.1.1	Volumeneigenschaften . . . . .	61
4.1.2	Oberflächeneigenschaften . . . . .	68
4.2	Veränderung der Grenz- und Oberflächeneigenschaften von ETFE durch die Einwirkung eines Plasmas . . . . .	70
4.2.1	Optische Eigenschaften . . . . .	70
4.2.2	Optische Simulation . . . . .	77
4.2.3	Oberflächenmorphologie . . . . .	81
4.2.4	Bildauswertung . . . . .	87
4.2.5	Oberflächenchemie . . . . .	93

4.2.6	Vergleich der Ergebnisse aus der optischen Charakterisierung und den Oberflächenanalysen . . .	95
4.2.7	Schlussfolgerungen zum Einfluss eines magnetronbasierten Sauerstoffplasmaprozesses auf die Strukturbildung . . . . .	98
4.3	Einfluss der kristallinen Bereiche des ETFE auf die Strukturbildung . . . . .	100
4.3.1	Anpassung der Molekül- bzw. Kristalllamellenorientierung von ETFE . . . . .	100
4.3.2	Plasmabehandlung von gerecktem ETFE . . . .	108
4.4	Erklärung der Strukturbildung auf ETFE . . . . .	114
<b>5</b>	<b>Anwendungsrelevanz, Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>119</b>
5.1	Anwendungsrelevanz . . . . .	119
5.1.1	Erhöhung der Energiedosis . . . . .	119
5.1.2	Optimierung der optischen Eigenschaften . . . .	123
5.1.3	Witterungsstabilität nanostrukturierter ETFE-Folie	125
5.2	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	127
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>133</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>145</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>157</b>
	<b>Formelzeichen</b>	<b>159</b>
	<b>Abkürzungen</b>	<b>163</b>
<b>A</b>	<b>Messwerte zur Bestimmung der Messunsicherheit bei der E-Modul-Messung</b>	<b>165</b>
<b>B</b>	<b>Kalibration und Bestimmung der Al-Massenbelegung</b>	<b>167</b>